



**Sols et carbone: Stocker du carbone,
enrichir les sols en matière organique.. Le
projet 4 pour mille**

Claire Chenu

AgroParisTech

Unité Ecosys, INRA-AgroParisTech Grignon

chenu@grignon.inra.fr



2015

Année internationale
des sols

1- Intro: l'initiative 4 pour mille



C.Chenu-26/02/2016-Baugé

REJOIGNEZ L'INITIATIVE 4 POUR 1 000

Les sols
pour la sécurité
alimentaire
et le climat

En s'appuyant sur une documentation scientifique solide et des actions concrètes sur le terrain, l'initiative « 4 pour 1 000 » vise à montrer que **sécurité alimentaire et lutte contre les dérèglements climatiques sont complémentaires** et à faire en sorte que l'agriculture apporte des solutions. Cette initiative consiste en une coalition d'acteurs volontaires dans le cadre du Plan d'action Lima Paris (LPAA) soutenue par un programme de recherche ambitieux.



4/1000 : L'initiative



- Une initiative multipartenaires
- Un programme international de recherche



4/1000 : Qu'ont-ils signé ?

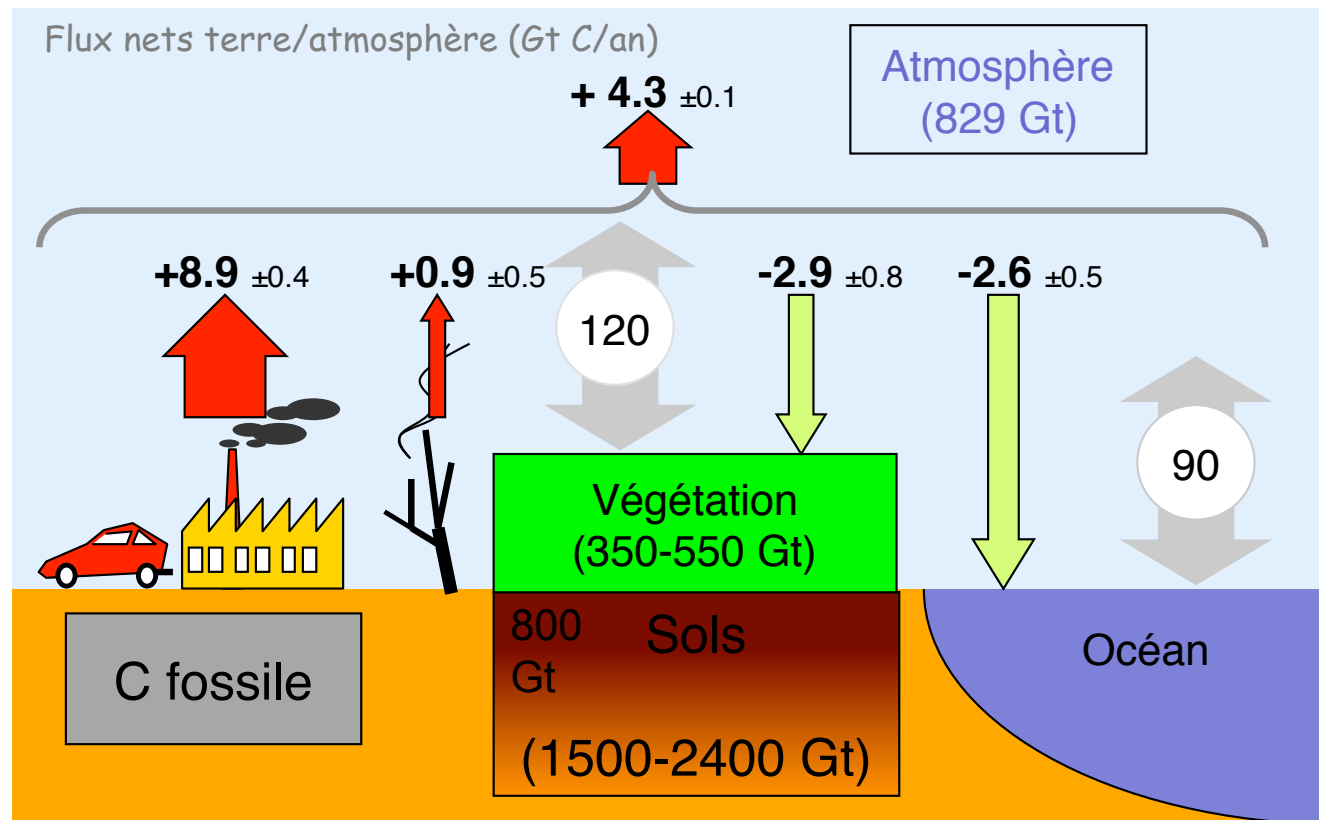


« Nous soutenons pleinement l'Initiative « 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat ».

Nous reconnaissons, chacun au regard de ses missions et mandats, la nécessité de :

- renforcer nos politiques publiques, nos outils et nos actions, pour **favoriser un développement agricole durable et rural et inclusif** qui intègre la **mise en place de pratiques** permettant de **maintenir ou d'améliorer la teneur en carbone des sols agricoles** ;
- **favoriser le lancement de programmes de recherche** afin de renforcer les connaissances sur le stockage du carbone dans les sols, **d'évaluer les performances des pratiques agricoles et de la restauration des terres dégradées** au regard du stockage du carbone ;
- **soutenir une démarche participative pour élaborer des solutions innovantes** et leur adoption pour le bénéfice des agriculteurs et de l'ensemble des populations, notamment à travers des **programmes de formation et d'éducation** ;
- partager nos projets, actions, expériences et résultats en la matière, en particulier les résultats de la recherche, au sein d'une plateforme commune et à organiser à intervalle régulier des réunions d'échanges et de capitalisation avec l'appui d'un comité scientifique et technique »

Le carbone des sols à l'échelle planétaire



1Gt= 10⁹t= 10¹² kg

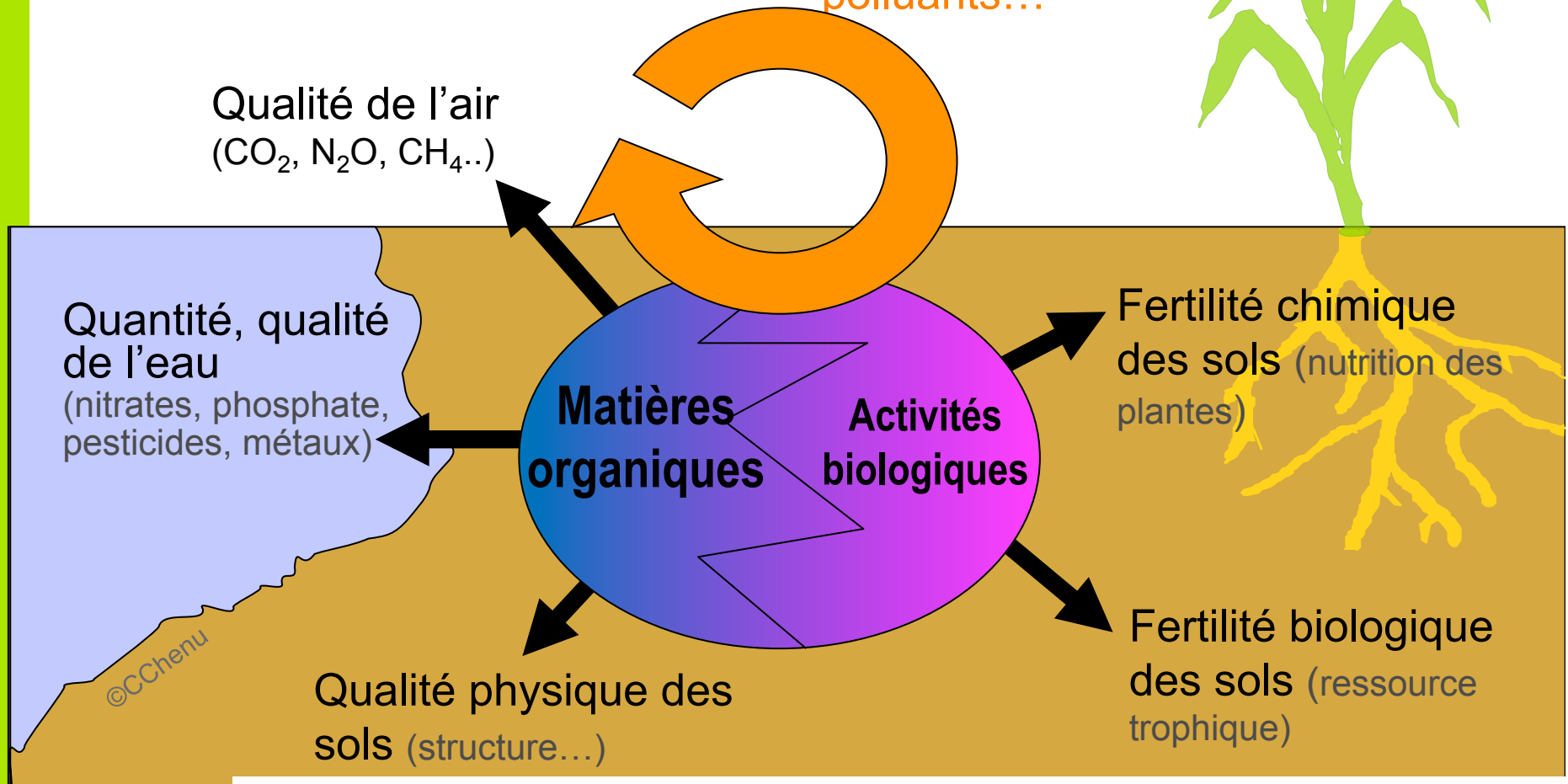
Valeurs moyennes pour 2004-2013 (Le Quéré et al., 2014)
Dessin d'après Balesdent 1996

→ Une augmentation annuelle de 4 ‰ du stock de C organique des sols mondiaux (2400 x 4 / 1000 = 9,6) compenserait les émissions annuelles de C anthropique liées à l'usage d'énergies fossiles (8,9 Gt C)

→ Une augmentation annuelle de 4 ‰ du stock de C organique des 30 cm de surface des sols mondiaux (800 x 4 / 1000 = 3,2 Gt C) compenserait une grande partie de l'augmentation annuelle de CO₂ de l'atmosphère (4,3 Gt C)

Pourquoi enrichir les sols en matière organique ?

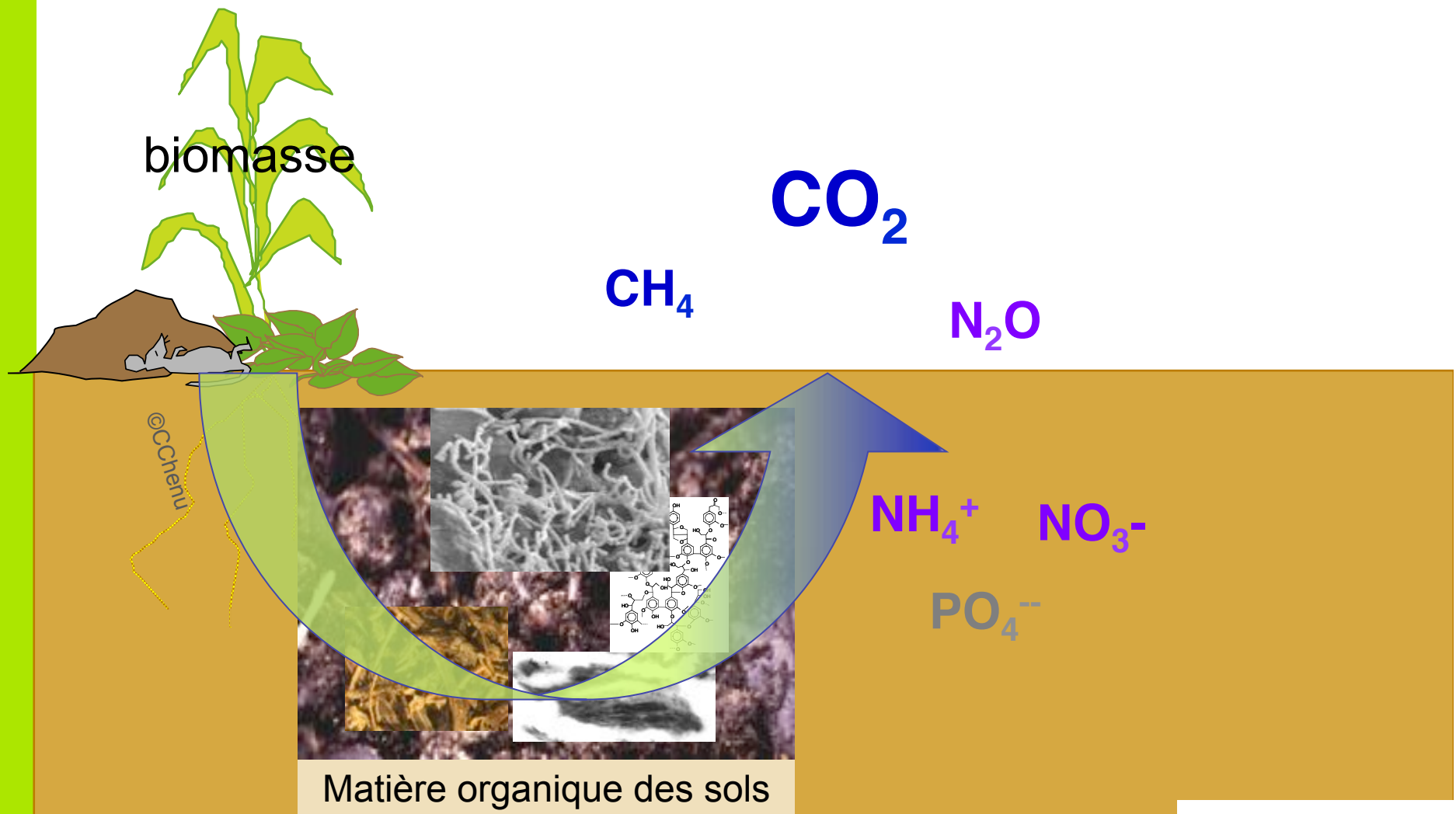
- Des fonctions essentielles... Cycles C, N, P, polluants...



- Qui dépendent de la: quantité, qualité, localisation, dynamique des matières organiques

2- Stockage de C dans les sols : quelques principes

Les cycles du carbone et de l'azote passent par les sols



Matières organiques et gaz à effet de serre: grandeurs et unités utilisées

Teneurs:

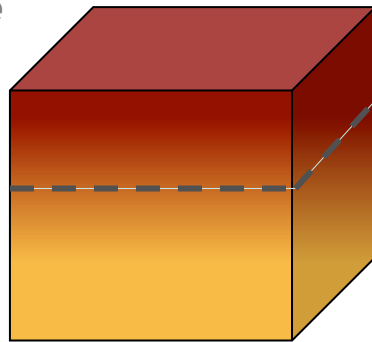
Matière organique : %

Carbone : %, g/kg

(MO = 1,7% C, les matières organiques c'est ≈ pour moitié du carbone)

Stocks de C:

Tonne C/ha pour une profondeur donnée *(on mesure la teneur en C et la densité apparente du sol)*



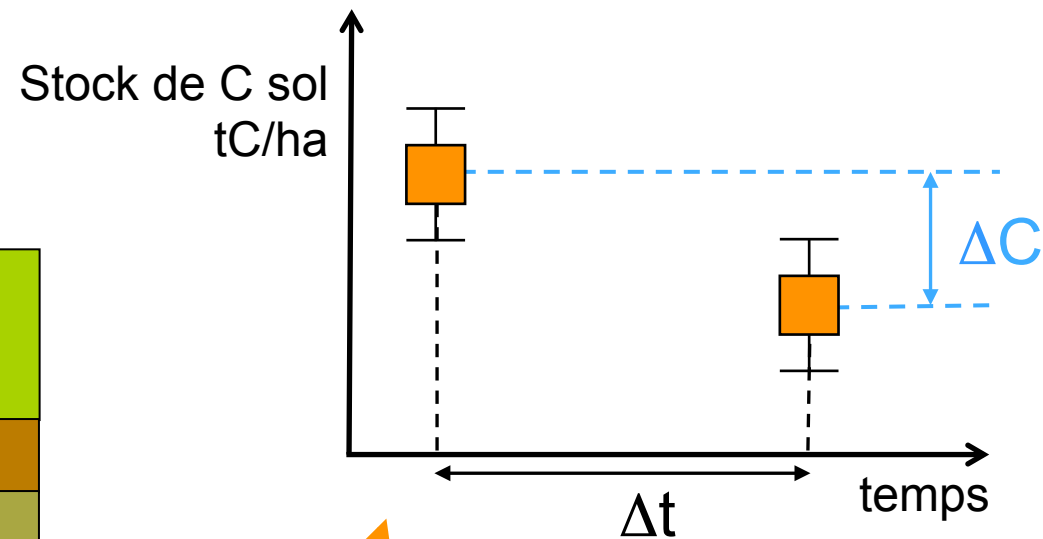
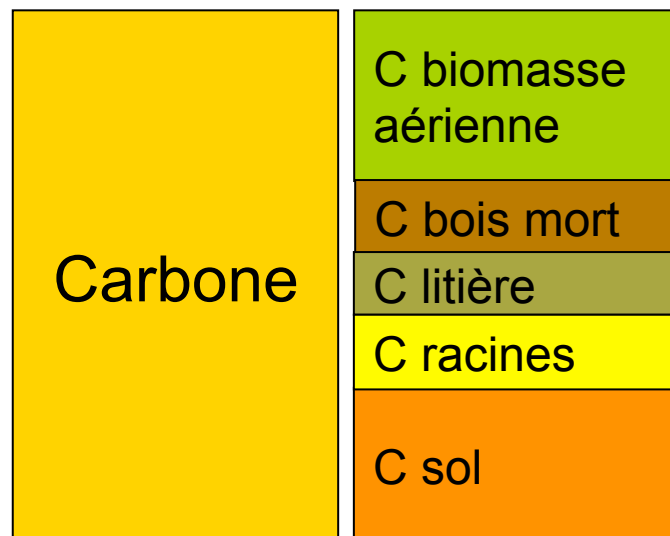
Gaz à effet de serre:

CO₂ équivalent (/ha/an)

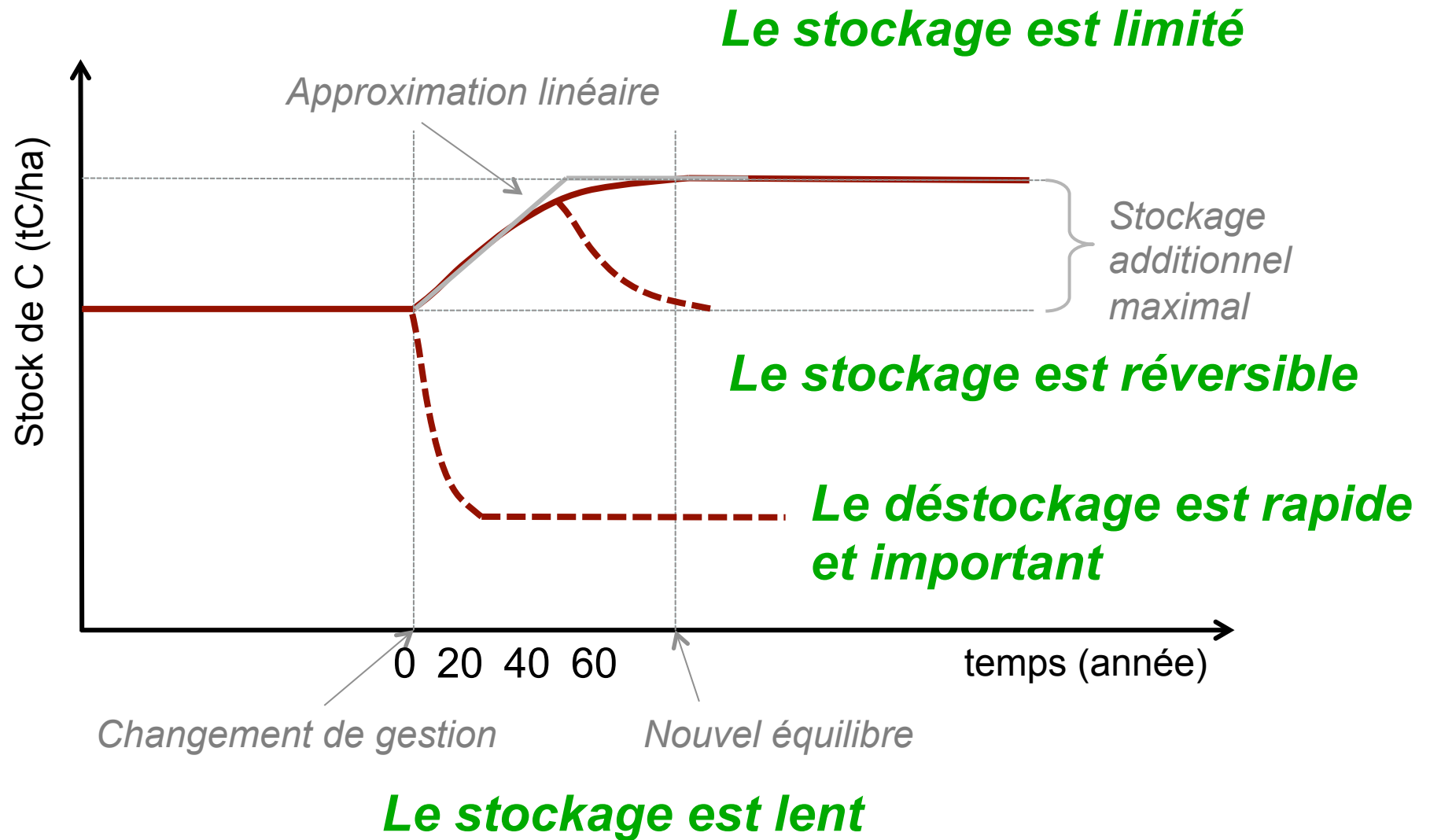
Gaz	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Potentiel de réchauffement global	1	23	296

Matières organiques et gaz à effet de serre: grandeurs et unités : comptabilité

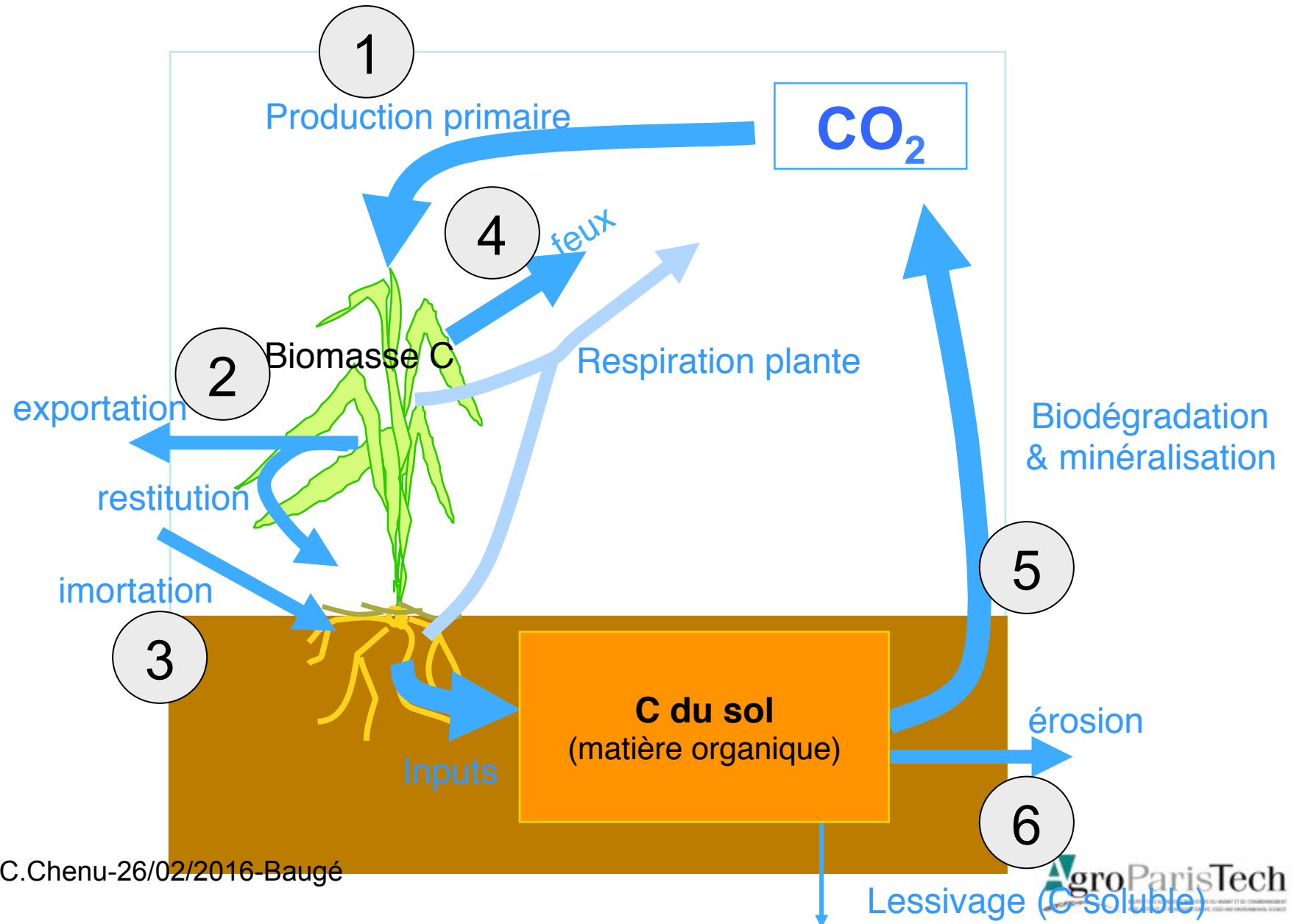
- N_2O , CH_4 : on considère les émissions (exprimées en équivalent CO_2)
- CO_2 : on effectue un bilan de masse de C



Stockage et déstockage de carbone des sols



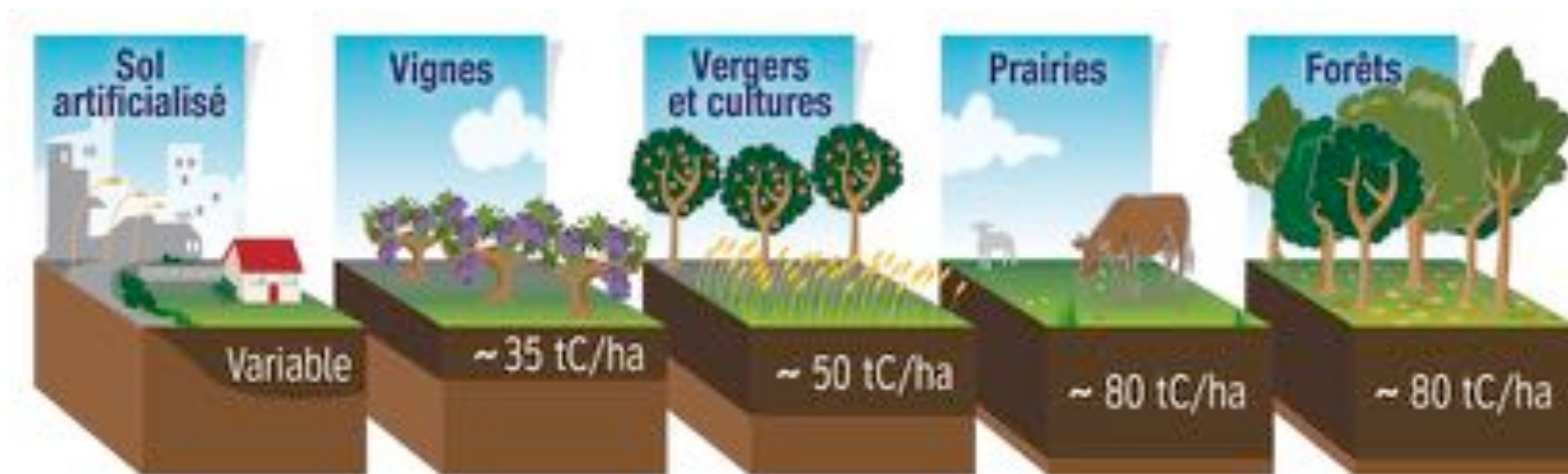
Stocker: mais comment ?



Usage des sols

- Une variable de premier ordre dont dépend le stock de C est l'usage du sol

Forêt ≈ Prairie > Cultures ≈ Vergers > Vignes



XX Estimation du stock de carbone dans les 30 premiers centimètres du sol

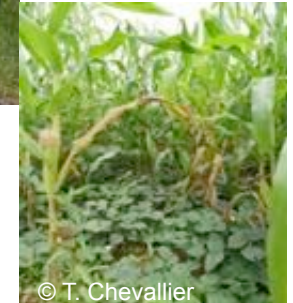
Ademe, 2014

Données GIS sol - INRA

3- Stocker du C dans les sols: volants d'action

Volants d'action: augmenter les entrées

- 1 • Cultures intermédiaires et intercalaires



- 1 • Plantes de couverture, cultures associées

- 1 • Prairies temporaires



- 1 • Agroforesterie, haies



- 2 • Résidus de culture



- 3 • Produits résiduaires organiques



Volants d'action : diminuer les sorties

4

5



- Non labour



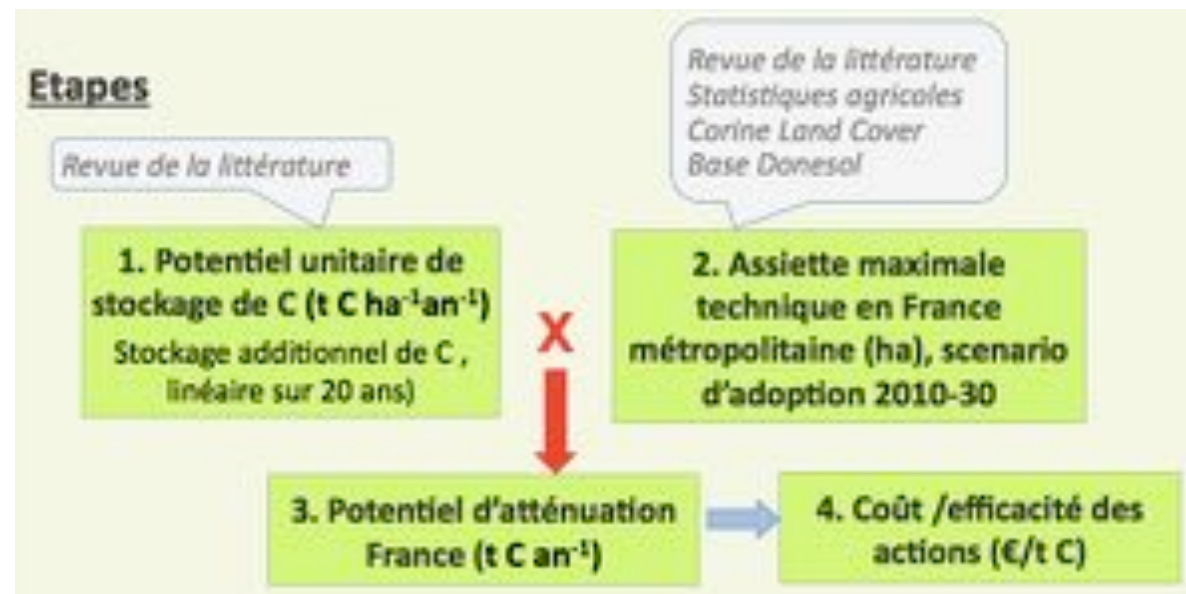
Une étude INRA: « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? »



Identifier et analyser 10 actions portant sur des pratiques agricoles, susceptibles de réduire les émissions de GES du secteur agricole en France

Eligibilité des mesures:

- augmentation des stocks de C (littérature)
- pas de changement majeur du système de production ni du rendement (perte < 10%)

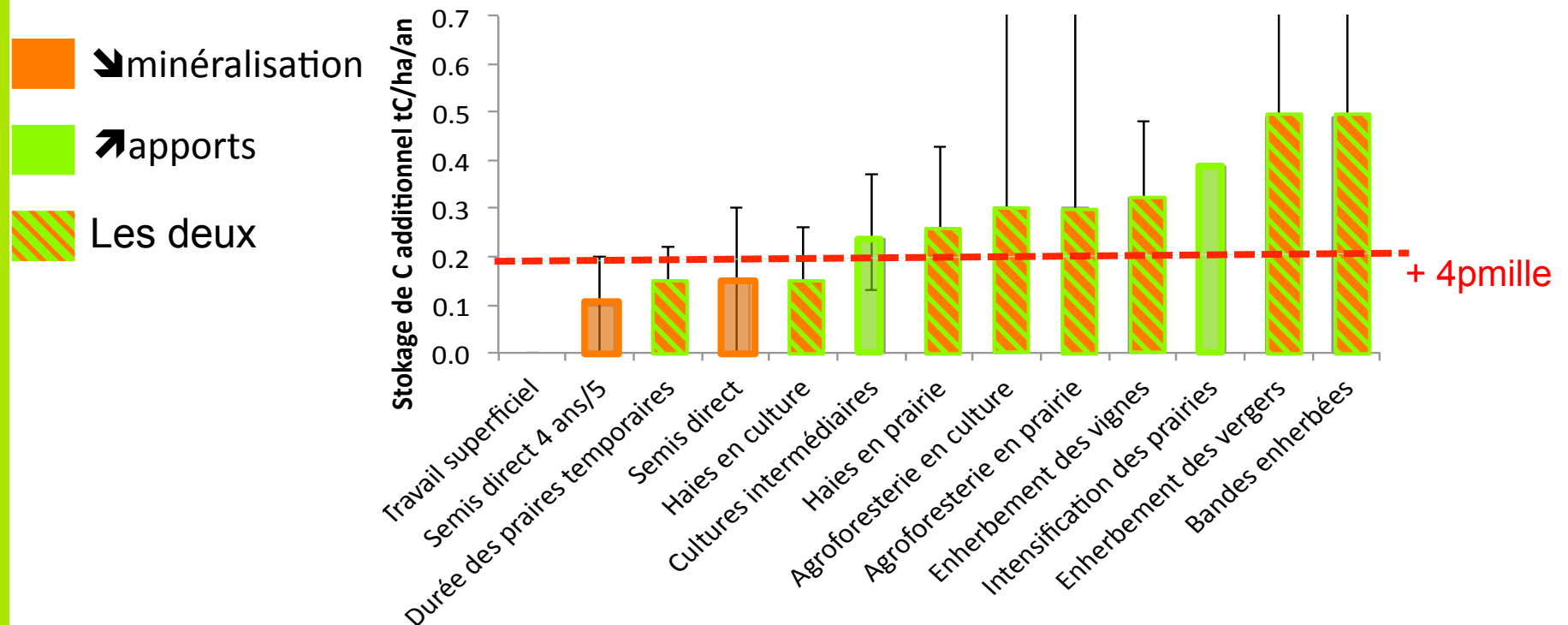


Etude GES INRA 2013
Pellerin Bamière et al.

C.Chenu-26/02/2016-Baugé

Etude INRA, Résultats : Comparaison de l'effet des pratiques

Stockage de C additionnel par unité de surface:



Etude GES INRA Pellerin et al. 2013

Chenu & al. 2014, Innovations Agronomiques, vol 37

Les pratiques considérées dans l'étude ont des potentiels de stockage contrastés. Pour certaines l'incertitude est énorme

Agroforesterie : Quantification stocks de C

Essai de Restinclières (1995- actuel)



Parcelle témoin agricole

Parcelle agroforestière

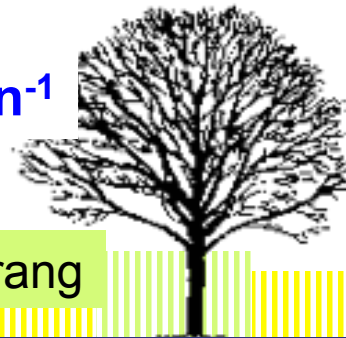
Stockage de C additionnel



Arbres (aérien)
 → + 0.72 t C ha⁻¹ an⁻¹

+litière

+végét rang



→ + 0.25 t C ha⁻¹ an⁻¹

+racines arbres mortalité

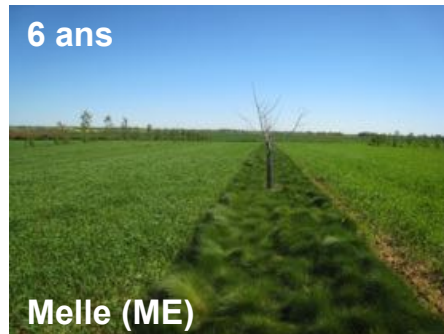
→ + 0.10 t C ha⁻¹ an⁻¹

Total entrées de C + 40%

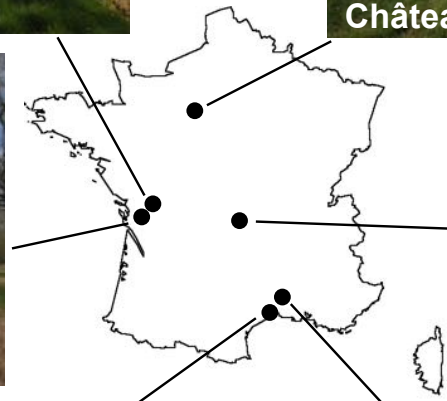
Profondeur (cm)
 0
 30
 50
 100

Le stockage de C dans les sols en agroforesterie tempérée a été récemment mesuré. Les stocks, comme les entrées de C au sol sont augmentés.

Réseau de parcelles agroforestières (Agrooof)



Projet AgriPSol
financé ADEME
Équipes Agrooof, INRA,
IRD, AgroParisTech



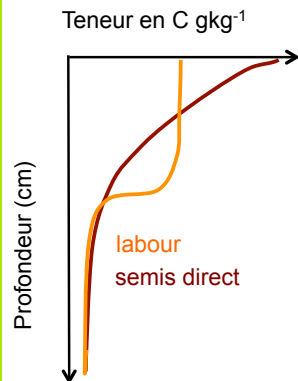
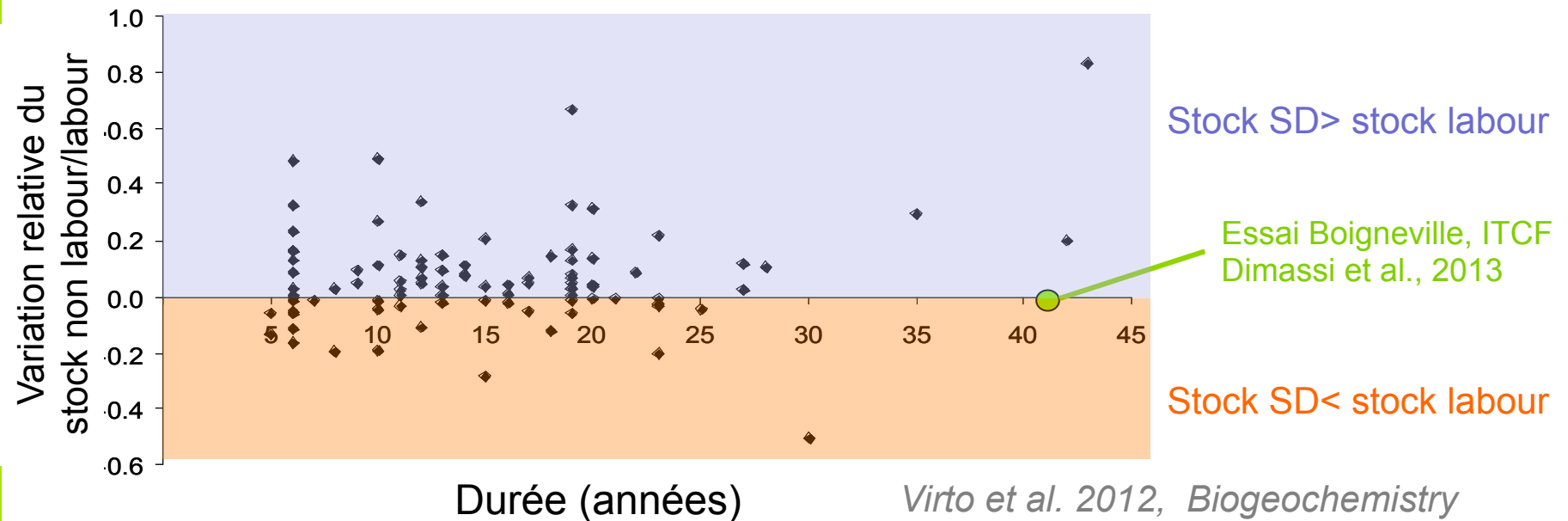
→ Taux d'accumulation moyen de **0.24 ± 0.07 t C/ha/an** sur 0-30 cm

Cardinael et al. soumis

Non labour



- Effet du semis direct / labour: une analyse de résultats d'essais de longue durée publiés (sélection stricte des essais/méthodologie)

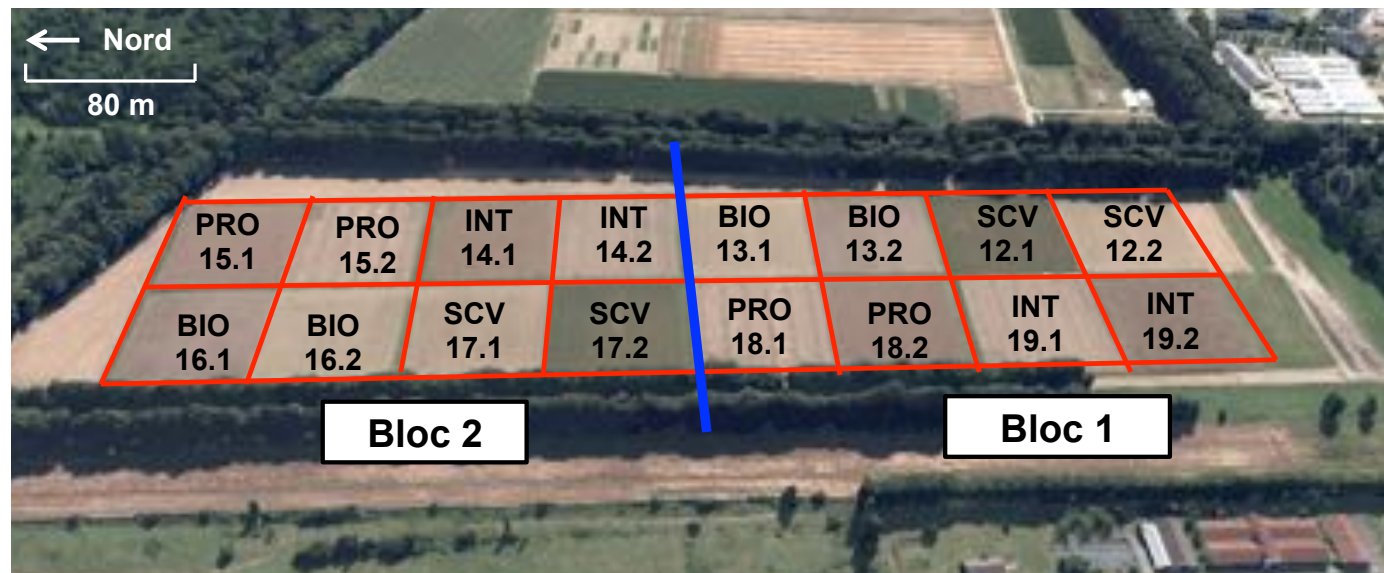


Grande variabilité du stockage de carbone en non labour. Fait revoir à la baisse les valeurs antérieures (biais méthodologiques antérieurs)

⇒ dans l'étude INRA : + 0,15 tC /ha/an (0-0,3)

En semis direct, les MO sont localisées plus en surface mais pas forcément augmentation du stock sur 30 cm ou +

Essai La Cage – INRA Versailles



Depuis 1998, comparaison de 4 systèmes de culture:

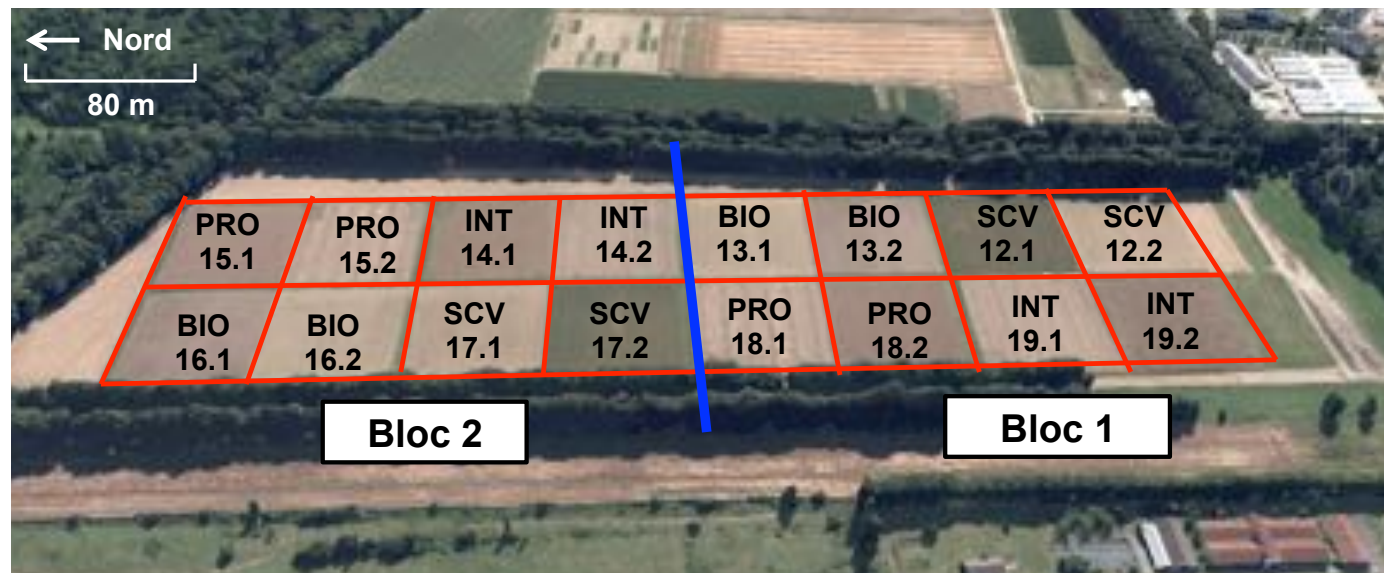
Contexte Bassin Parisien forte présence des céréales, rotation courte, blé tout les deux ans

- **Système productif** : obtention de la marge économique maximale passe par le rendement max
- **Système bas niveau d'intrants** : une baisse conjointe des objectifs de rendement et des intrants permet de maintenir la marge économique et de réduire les impacts environnementaux
- **Système biologique** : respectant le cahier des charges de l'agriculture bio dans un contexte céréalier sans élevage
- **Système SCV (Sous Couvert Végétal)** : avec suppression du travail du sol et maintien d'un couvert végétal permanent

Limon profond drainé, forte potentialité

Doc et contact: M. Bertrand, INRA Grignon

Essai La Cage – INRA Versailles



Doc et contact: M. Bertrand, INRA Grignon

Cultures :

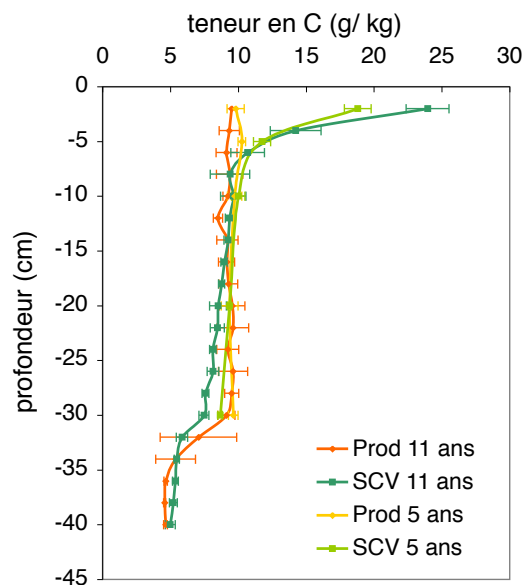
- Blé un an sur 2 dans tous les systèmes
- Productif & Intégré : blé, pois, colza
- SCV: blé, pois, maïs, luzerne, avoine..
- Biologique : blé, pois, colza, luzerne, orge, lupin

Cultures intermédiaires

Plantes de couverture (SCV) : fétuque puis luzerne

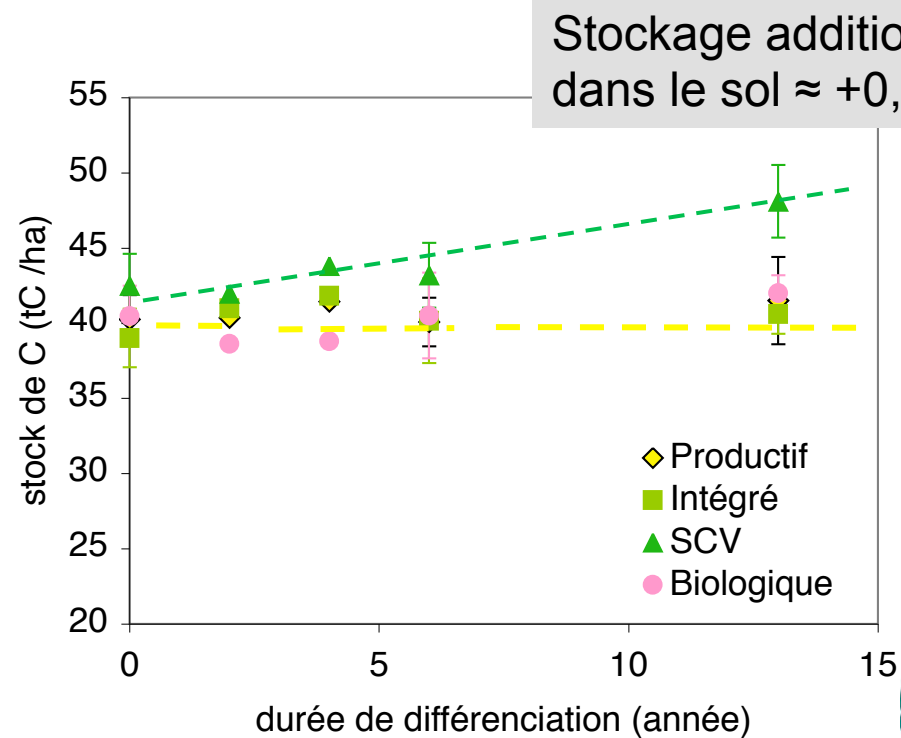
Non labour : semis direct sous couvert végétal

- Essai La Cage INRA Versailles



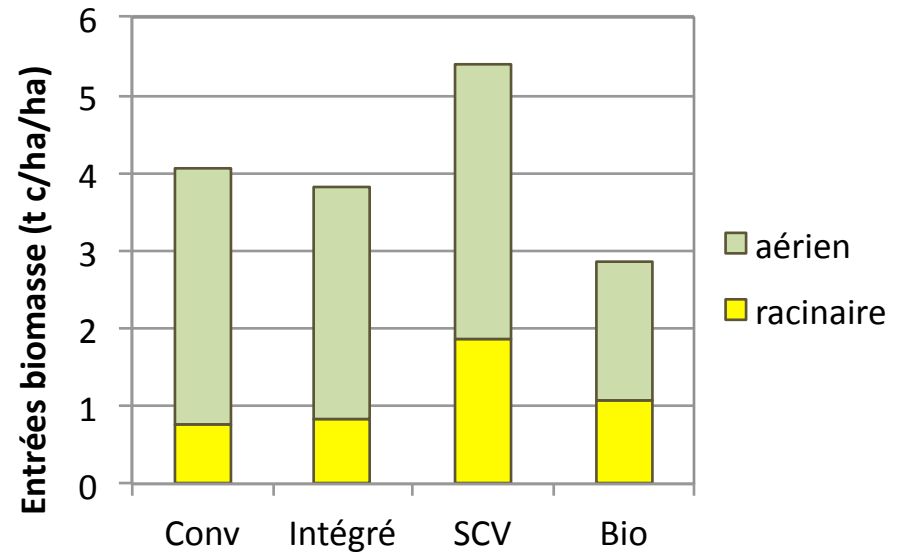
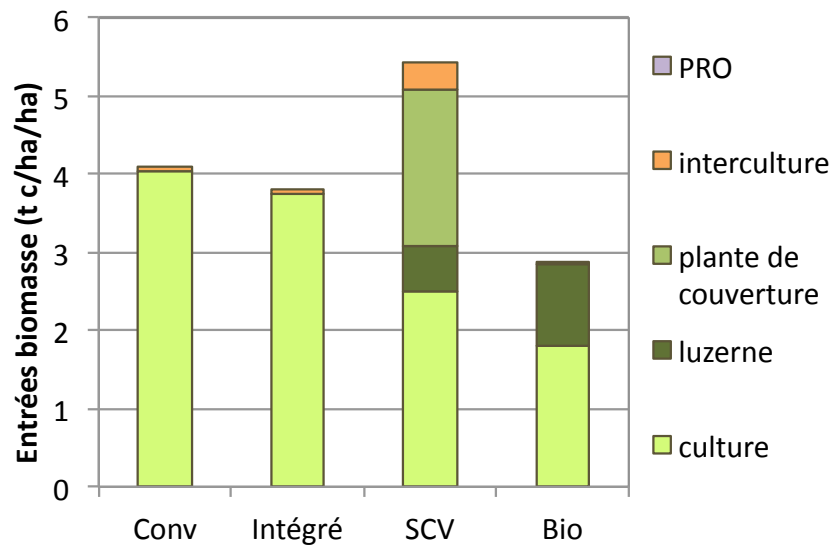
Balabane et al. 2005
Chenu & Girardin, non publié

C.Chenu-26/02/2016-Baugé



Non labour : semis direct sous couvert végétal

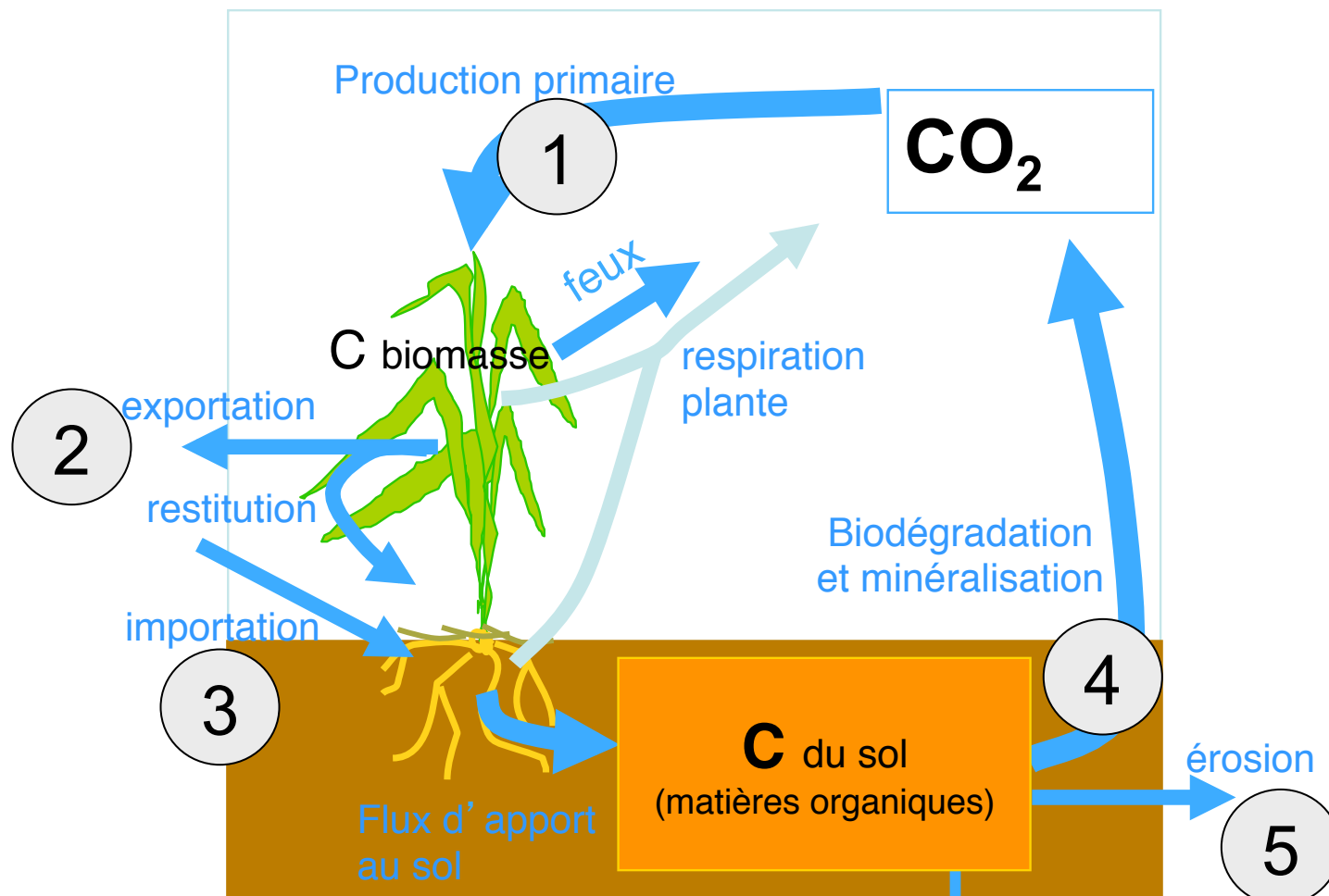
- Essai de La Cage : détermination des entrées de C au sol
 - Moyennes 1998-2014 (tC/ha/an):



Bénédicte Autret et al. soumis

Les entrées de C au sol plus importantes en semis direct sous couvert végétal pourraient expliquer le stockage additionnel de C observé

Stockage de C dans les sols agricoles: les volants d'action



Il apparaît plus efficace d'augmenter les entrées de C au sol que de diminuer les pertes par minéralisation

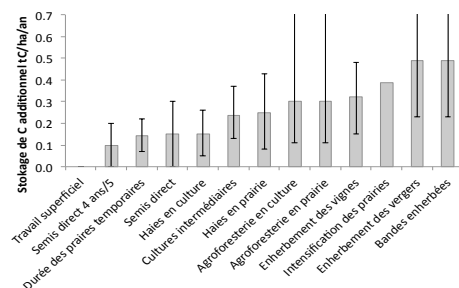
Sur quelle « assiette » développer ces pratiques ?

- Ex: cultures intermédiaires et intercalaires

	Cultures intermédiaires	Enherbement vergers	Enherbement vignobles	Bandes enherbées
Stockage de C additionnel MgC ha ⁻¹ an ⁻¹	0.24 (0.13-0.37)	0.49 (0.23-0.72)	0.32 (0.15-0.48)	0.49 (0.23-0.72)
Assiette maximale	Toutes cultures	Tous vergers	Tous vignobles	Toutes bordures de
Surfaces exclues	-	-	climat sec	-
	teneur en argile > 60%	-	sols très caillouteux	-

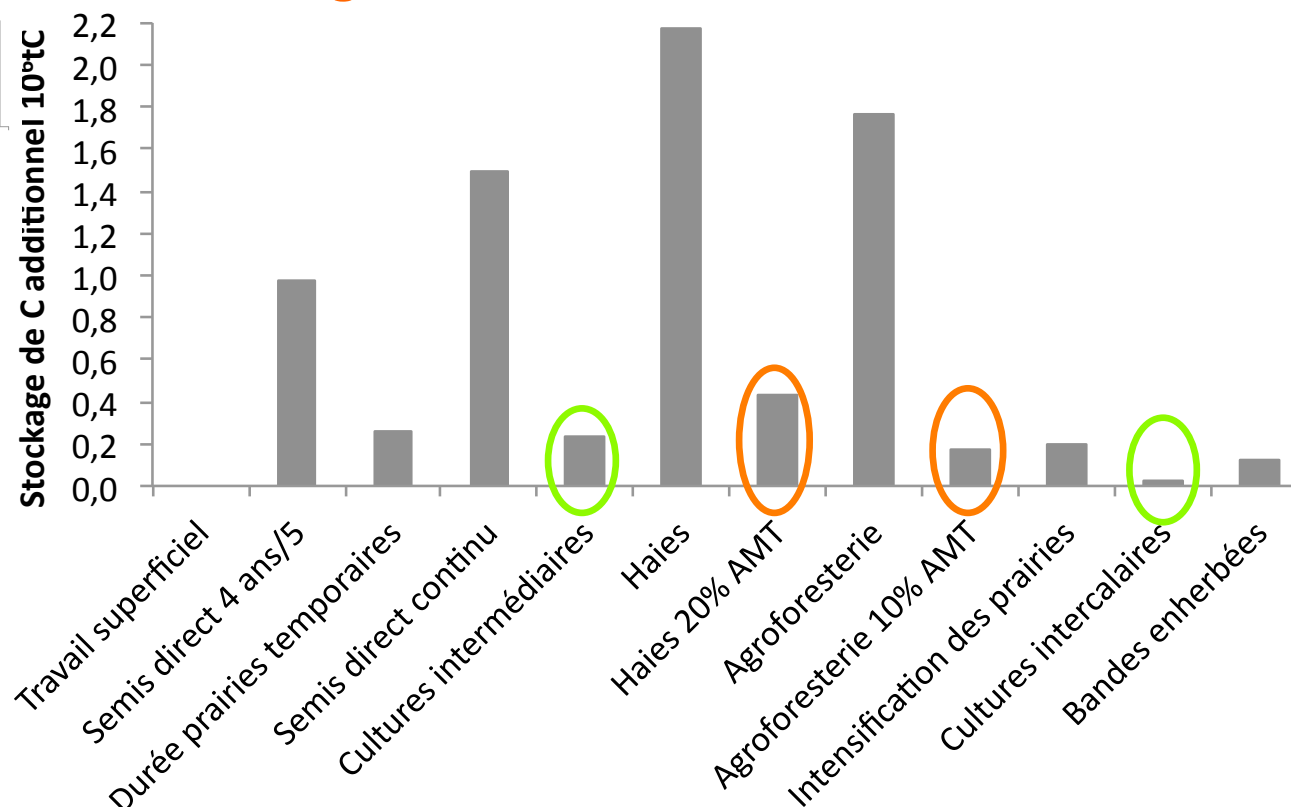
Des restrictions éventuelles de cultures, de climat ou sol

Potentiel de stockage de C à l'échelle nationale



- Etat initial 2010
- Hypothèse assiette technique maximale (AMT) atteinte en 2030

Stockage de C additionnel année 2030



- Si les pratiques sont déjà largement adoptées le potentiel de stockage de C en plus est faible (ex. enherbement intercalaire)
- La somme ne compense pas les émissions agricoles France métropolitaine

Etude GES INRA Pellerin et al. 2013

Chenu & al. 2014, Innovations Agronomiques, vol 37

Conclusion

4 p 1000 : est-ce faisable ?

- A l'échelle locale : oui
 - une palette de pratiques permettent d'augmenter annuellement les stocks de C des sols cultivés de $\geq 4\%$ an pendant ≥ 50 ans
- A l'échelle nationale ou globale: ? Apparaît hors de portée
 - fait porter l'effort sur les sols cultivés dont les surfaces ne sont pas grandes en % (France comme Monde).
 - Les sols de prairies de longue durée ou forêt sont déjà au maximum ou presque.
 - De grosses incertitudes : recherche nécessaire !
- Ne pas se fixer sur cette valeur de 4p1000 !
 - c'est enrichir la teneur en C (donc en MO) des sols qui est intéressant : un effort à faire
- Et de nombreux bénéfices ...

Bénéfices



Bénéfices

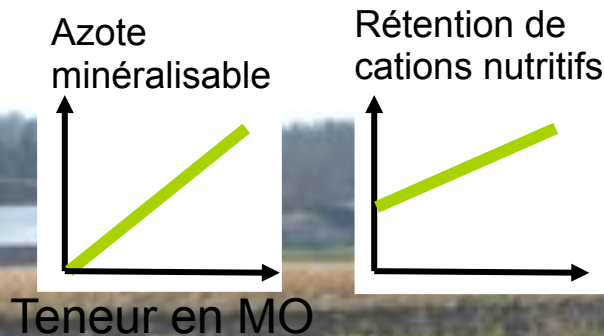


Photos Atlas Européen de la Biodiversité des Sols, JRC

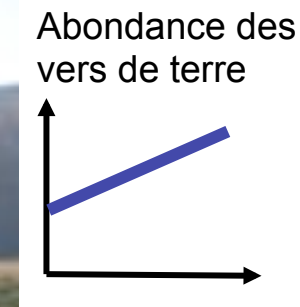
Bénéfices

- Maintien et amélioration des propriétés des sols

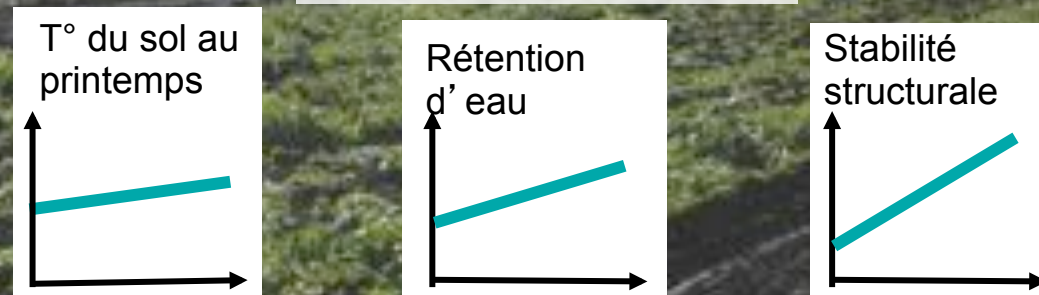
fertilité chimique



fertilité biologique



fertilité physique



De nombreuses propriétés des sols sont améliorées lorsque l'on augmente la teneur en matière organique. Il faut maintenant développer des outils de gestion

La FAO et les sols



DEMOCRATIC REPUBLIC OF CONGO - Women farmers working on a garden plot at a farmer field school, supported by FAO. The farmer field school, supported by FAO teaches farmers improved techniques including the use of natural fertilizers and organic alternatives to pesticides. ©GIZ/FAO/Annie

AGROECOLOGY TO REVERSE SOIL DEGRADATION AND ACHIEVE FOOD SECURITY
Agroecology, which restores ecosystem functioning by maintaining soil health, is an effective strategy to achieve food security in the areas of the world where it is most needed.

Une gestion durable des sols

- Accroître la teneur en **matière organique des sols**
- Maintenir la **végétation** à la surface des sols
- Utiliser les **nutriments** de manière prudente
- Encourager la **rotation des cultures**
- Limiter l'**érosion**



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture



2015

Année internationale
des sols



#IYS2015

irisTech
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE TRANSFERT
EN TECHNOLOGIE DES SOLS, DES EAU ET DE L'AGRICULTURE

N'oublions pas..

- Il n'y a pas que du carbone dans les matières organiques
- Il n'y a pas que des matières organiques dans les sols
- Il n'y a pas que le climat comme objectif environnemental
- Matières organiques : plus il y en a mieux c'est ?
 - N, P...
- Il faut raisonner au delà de la parcelle
 - Paysage
 - Filière
- La priorité est de ne pas dé-stocker de C, ne pas appauvrir les sols en matière organique

Conclusion

- Priorité : ne pas déstocker le C des sols !



Conclusion

- **Priorité : ne pas déstocker le C des sols !**
- **Stocker du C : c'est possible**
 - Augmenter entrées > diminuer sorties
 - Outils disponibles : modèles (ex.Simeos AMG,
- **Pour stocker du C il faut des sols, de la biomasse..**
 - Compétition entre usages (fourrages, combustibles)
- **Stocker du C : bénéfices multiples**
 - Une stratégie sans regret
- **Mise en œuvre :**
 - Formation, outils de suivi, incitations, politiques publiques...
- **Stocker du carbone dans les sols ne doit pas être un alibi pour ne pas réduire nos émissions de gaz à effet de serre !**



Merci pour votre attention !

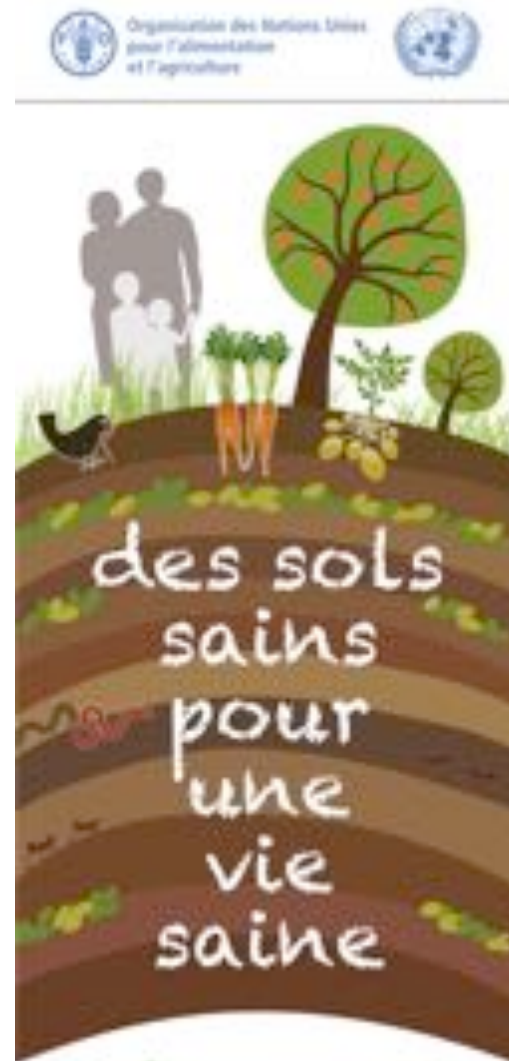


PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21-CMP11

4 POUR
1000

LES
SOLS POUR LA SÉCURITÉ
ALIMENTAIRE ET LE CLIMAT

C.Chenu-26/02/2016-Baugé



2015
Année internationale
des sols



#IYS2015

irisTech
INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE TRANSFERT
EN TECHNOLOGIE, ENNOUVELLE ENERGIE

Les références citées :

ADEME, 2014. Le carbone des sols, l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat. Brochure Réf. 7886 téléchargeable sur www.ADEME.fr/mediatheque (in english and in french)

Balabane, M., Bureau, F., Decaens, T., Akpa, M., Hedde, M., Laval, K., Puget, P., Pawlak, B., Barray, S., Cluzeau, D., Labreuche, J., Bodet, J.M., Le Bissonnais, Y., Saulas, P., Bertrand, M., Guichard, L., Picard, D., Houot, S., Arrouays, D., Brygoo, Y. & Chenu, C. 2005. Restauration de fonctions et propriétés des sols de grande culture intensive. Effets de systèmes de culture alternatifs sur les matières organiques et la structure des sols limoneux et approche du rôle fonctionnel de la diversité biologique des sols (Dmostra). Rapport final de contrat MEDD. www.gessol.fr

Cardinael, R. Chevallier, T., Barthès, B., Saby, N., Parent, Dupraz, C., Bernoux, M. & Chenu, C. 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - a case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, 259–260, 288–299

Chenu C, Klumpp K., Bispo A., Angers D., Colnenne C., Metay A., 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques* 37, 23-37
<http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volumes-publies-en-2014/Volume-37-Juillet-2014>

Le Quéré et al., 2014. Global carbon budget 2014. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*
<http://dx.doi.org/10.5194/essdd-7-521-2014>

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.
<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture> (un résumé en 8 pages est aussi disponible)

Virto I., Barré P., Burlot A., and C. Chenu. 2012. Carbon input differences explain the variability in soil organic C storage of no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry*, 108, 17–26,

Pour en savoir plus..

ADEME, 2014. Le carbone des sols, l'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat. Brochure Réf. 7886 téléchargeable sur www.ADEME.fr/mediatheque (in english and in french)

Atlas européen de la Biodiversité des sols (en anglais et en français). Téléchargeable à : http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/biodiversity_atlas/french.html

Un jeu des 7 familles sur la biodiversité des sols. Téléchargeable à : <http://www.gessol.fr/content/le-jeu-de-7-familles-la-vie-cach-e-des-sols>

Conseil scientifique GESSOL, communiqué de presse sur le 4 pour mille. www.gessol.fr

FAO : abondante iconographie : infographies, plaquettes, vidéos créés à l'occasion de l'année internationale des sols <http://www.fao.org/soils-2015/fr/> à utiliser abondamment !

Site du GIS Sol: beaucoup de données disponibles sur les sols de France et leur évolution: <https://www.gissol.fr/thematiques>

Quelques vidéos, supports d'exposés:

- http://www.dailymotion.com/video/x3cdow9_les-sols-levier-considerable-dans-l-attenuation-du-changement-climatique_news
- http://www.dailymotion.com/video/xxvspn_stocker-du-c-dans-les-sols-agricoles_tech#.UTDObqVoKqQ
- Etude INRA citée dans cet exposé: <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>
- Site de l'AFES: des webinaires, dont plusieurs sur les matières organiques des sols, la biodiversité, les biochars.. <https://vimeo.com/channels/webinairesafes/videos>
- Une animation percutante sur les sols : <https://vimeo.com/54012605>
- Une vidéo sur le 4p1000 <https://youtu.be/CM2KcNUUEcQ>

C.Chenu-26/02/2016-Baugé

